



**НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ**  
nauchforum.ru



**№ 7(17)**

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

МОСКВА, 2018



# НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам XVII международной  
научно-практической конференции*

№ 7 (17)  
Август 2018 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва  
2018

УДК 51/53+62

ББК 22+3

НЗ4

Председатель редколлегии:

*Лебедева Надежда Анатольевна* – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, г. Киев, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

*Ахмеднабиев Расул Магомедович* – канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов Полтавского инженерно-строительного института, Украина, г. Полтава;

*Данилов Олег Сергеевич* – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

*Маршалов Олег Викторович* – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО "Южно-Уральский государственный университет" (НИУ), Россия, г. Златоуст.

**НЗ4 Научный форум: Технические и физико-математические науки:** сб. ст. по материалам XVII междунар. науч.-практ. конф. – № 7 (17). – М.: Изд. «МЦНО», 2018. – 50 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2018

## **Оглавление**

<b>Раздел 1. Технические науки</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Технология продовольственных продуктов</b>	<b>4</b>
АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУР СМЕСЕЙ ЭКСТРУДАТОВ	4
Сырокоренский Илья Сергеевич Куликова Марина Геннадьевна	
<b>1.2. Транспортное, горное и строительное машиностроение</b>	<b>10</b>
УГЛЕКИСЛОТНАЯ КОРРОЗИЯ НА ОБЪЕКТАХ ВТОРОГО УЧАСТКА АЧИМОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ УРЕНГОЙСКОГО НГКМ	10
Корякин Александр Юрьевич	
КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ ГАЗА В УСЛОВИЯХ РАЗРАБОТКИ УРЕНГОЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	21
Корякин Александр Юрьевич	
<b>1.3. Энергетика</b>	<b>35</b>
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПТП В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	35
Харитонов Евгений Васильевич Сафина Дина Наилевна Колоненкова Ольга Олеговна Абакумов Евгений Владимирович Кутлизамаев Руслан Рустамович Шарифуллин Искандер Ильдарович Федотов Данил Михайлович Идрисов Гадель Ингелевич Аникина Марина Дмитриевна	
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЛЬТРОВ ГАРМОНИК В СРЕДЕ MATLAB	40
Юдин Алексей Викторович	
<b>Раздел 2. Физика</b>	<b>46</b>
<b>2.1. Приборы и методы экспериментальной физики</b>	<b>46</b>
ФРАКТАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУР В СОВРЕМЕННЫХ ПРИБОРАХ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ (ПНВ)	46
Доненко Иван Леонидович	

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

### **РАЗДЕЛ 1.**

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

### **1.1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ**

#### **АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУР СМЕСЕЙ ЭКСТРУДАТОВ**

***Сырокоренский Илья Сергеевич***

*студент, филиал федерального государственного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
РФ, г. Смоленск*

***Куликова Марина Геннадьевна***

*канд. техн. наук, доцент, филиал федерального государственного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
РФ, г. Смоленск*

#### **ANALYTICAL MODELING OF COMPOUND FORMULAS OF EXTRUDATES**

***Ilya Sirokorensky***

*student, branch of the Federal State Institution of Higher Education  
"National Research University" MEI "in Smolensk,  
Russia, Smolensk*

**Marina Kulikova**

*candidate of technical sciences, associate professor,  
branch of the Federal State Institution of Higher Education  
"National Research University" MEI "in Smolensk,  
Russia, Smolensk*

**Аннотация.** В статье предложен способ разработки рецептур смесей экструдированных продуктов типа снеков на основе аналитического моделирования, который способствует снижению временных и материальных затрат на стадии производственного эксперимента. Используемый способ разработки рецептур новых экструдированных снеков позволяет сократить количество производственных опытов и разрабатывать рецептуры экструдатов в условиях информационной неопределенности, однако не может полностью заменить производственный эксперимент.

**Abstract.** The article proposes a method for developing mixtures of extruded snack products on the basis of analytical modeling, which helps reduce time and material costs at the stage of the production experiment. The used method for developing new extruded snacks allows reducing the number of production experiments and developing extrusion formulation under conditions of information uncertainty, but cannot completely replace the production experiment.

**Ключевые слова:** математическое моделирование; разработка рецептур; экструдированные снеки; задача оптимизации; производственный эксперимент.

**Keywords:** mathematical modeling; formulation development; extruded snacks; optimization problem; production experiment.

Разработка рецептур новых продуктов – трудозатратный много-стадийный процесс, включающий этапы формулировки требований к продукту, производственный эксперимент и их доработка опытных образцов, внедрение в производство и отработка технологии.

Для снижения временных и материальных затрат на стадии производственного эксперимента предлагается исследовать аналогичные свойства продукта на математической модели [1].

Модель рецептуры нового продукта строится следующим образом: вводятся логически обоснованные постулаты, исходя из них, строится функция, зависимости которой в дальнейшем сопоставляются с ранее наблюдаемыми результатами.

Построим математическую модель рецептуры крахмальной смеси для производства экструдированных продуктов питания (экструдатов), типа снеков.

Требуется составить смесь для производства экструдата типа снеков с равнозначными компонентами: сублимированное мясо цыпленка (1), рисовая мука (2), меланж сухой (3). Определяющими параметрами выбраны влажность и рН смеси [3].

Массовая доля компонентов смеси:  $0,15 \leq M_1 \leq 0,8$ ;  $0,1 \leq M_2 \leq 0,47$ ;  $0,02 \leq M_3 \leq 0,5$ . Сумма массовых долей компонентов смеси равна 1.

Цель моделирования состоит в нахождении математической формулы, позволяющей: предсказывать свойства смеси, исходя из известных значений ингредиентов смеси; определять пропорции ингредиентов, для которых свойства смеси достигнет заданной величины.

Для гомогенной смеси из трех компонентов математическая модель имеет вид:

$$Y = f_0(M_1, M_2, M_3; X_{01}, X_{02}, X_{03}; P_{01}, P_{02}, P_{03}) + X_1 M_1 + \\ + X_2 M_2 + X_3 M_3 + X_{11} M_1^2 + X_{22} M_2^2 + X_{33} M_3^2 + \\ + X_{12} M_1 M_2 + X_{13} M_1 M_3 + X_{23} M_2 M_3 + H$$

В модели принято линейное приближение зависимости поправки от массовых долей. Идентификация модели проведена методом наименьших квадратов.

Ошибка модели определяется, как:

$$H(n) = Y(n) - f_0(n) - X_1 M_1 - X_2 M_2 - X_3 M_3 - H$$

Минимизация суммарной ошибки модели (ОШ), используя условия:

$$\frac{\partial ОШ}{\partial X_1} = \frac{\partial ОШ}{\partial X_2} = \frac{\partial ОШ}{\partial X_3} = 0$$

Искомые коэффициенты модели, определяются системой:

$$\begin{cases} X_1 \sum_n M_1^2(n) + X_2 \sum_n M_1(n) M_2(n) + X_3 \sum_n M_1(n) M_3(n) = -\sum_n (Y(n) - f_0(n)) M_1(n) \\ X_2 \sum_n M_2^2(n) + X_1 \sum_n M_1(n) M_2(n) + X_3 \sum_n M_2(n) M_3(n) = -\sum_n (Y(n) - f_0(n)) M_2(n) \\ X_3 \sum_n M_3^2(n) + X_1 \sum_n M_1(n) M_3(n) + X_2 \sum_n M_2(n) M_3(n) = -\sum_n (Y(n) - f_0(n)) M_3(n) \end{cases}$$

Детерминант D данной системы уравнений:

$$\begin{aligned}
 Det = & \left( \frac{1}{N} \sum_n M_1^2(n) - \left( \frac{1}{N} \sum_n M_1(n) \right)^2 \right) \cdot \left( \frac{1}{N} \sum_n M_2(n) - \left( \frac{1}{N} \sum_n M_2(n) \right)^2 \right) + \\
 & + \left( \frac{2}{N} \sum_n M_1(n) M_2(n) - \frac{1}{N^2} \sum_n M_1(n) \sum_n M_2(n) \right) \\
 & \frac{1}{N^2} \sum_n M_1(n) \sum_n M_2(n) \cong \frac{1}{N^2} \left( M_1(n) \sum_n M_2(n) \right)^2 \approx \overline{M_1^2} \cdot \overline{M_2^2}
 \end{aligned}$$

Характеристики параметров системы определены в Таблице 1. Рецептуры смесей с различными массовыми долями компонентов в Таблице 2.

Равновесные характеристики смеси  $f_0(n)$  определены по формулам:

для расчета влажности

$$f_0(n) = M_1(n) X_{01} + M_2(n) X_{02} + M_3(n) X_{03}$$

для расчета pH

$$f_0(n) = -\lg(M_1(n) 10^{-X_{01}} + M_2(n) 10^{-X_{02}} + M_3(n) 10^{-X_{03}})$$

**Таблица 1.**

**Характеристика компонентов смеси**

Характеристика $X_{0i}$	I=1 (мясо цыпленка)	I=2 (рисовая мука)	I=3 (меланж сухой)
pH	6,19	6,22	5,92
влажность	22	4	4



Таблица 2.

## Характеристика трехкомпонентной смеси

№	Массовые доли компонентов			ФТС смеси, Y(n) (измеренные)		Равновесные характеристики смеси, f <sub>0</sub> (n) (расчетные)	
	M <sub>1</sub> (n)	M <sub>2</sub> (n)	M <sub>3</sub> (n)	pH	ОВ	pH	ОВ
1	0,45	0,45	0,1	7,5	12	6,166	12,1
2	0,6	0,35	0,5	6,06	14	6,032	14,8
3	0,75	0,23	0,02	6,26	18	6,189	17,5
4	0,5	0,47	0,03	6,29	13	6,192	13
5	0,35	0,45	0,3	6,2	11	6,098	10,3
6	0,25	0,35	0,4	6,27	10	6,069	8,5
7	0,15	0,45	0,4	6,14	8	6,071	6,7
8	0,55	0,42	0,03	6,21	13,5	6,191	13,9
9	0,65	0,35	0,5	6,11	14,5	6,180	15,7
10	0,8	0,1	0,1	6,23	19	6,157	18,4

После обработки результатов были получены значения искомым коэффициентов

для pH:  $X_1=-0,01938$ ,  $X_2=0,684$ ,  $X_3=-0,02436$ ;

для влажности:  $X_1=-0,9234$ ,  $X_2=1,2965$ ,  $X_3=1,4759$ .

В результате математическая модель имеет вид:

$$Y_{pH} = -\lg(M_1 10^{-6,19} + M_2 10^{-6,22} + M_3 10^{-5,92}) - 0,019M_1 + 0,684M_2 - 0,024M_3$$

$$Y_B = 22M_1 + 4M_2 + 4M_3 - 0,923M_1 + 1,297M_2 + 1,476M_3$$

На основе полученной модели решена оптимизационная задача: найдены массовые доли компонентов, которые дают требуемые значения характеристик смеси для приготовления экструдированных снеков. Так, например, чтобы получить влажность смеси 20%, необходимо взять 90% сублимированного мяса цыпленка, 5% рисовой муки и 5% меланжа сухого.

В общем случае для модели были найдены все коэффициенты и выявлено, что неучет поправок, связанный с взаимодействием компонентов, приводит к ошибкам порядка 7% [2].

Безусловно, математическое моделирование рецептур новых экструдатов не может полностью заменить производственный эксперимент, однако данный метод позволяет сократить количество опытов, а так же дает возможность проектировать рецептуры продуктов в условиях информационной неопределенности, которая характерна для реального производства в отраслях пищевой промышленности.

**Список литературы:**

1. Аксенова О.И., Алексеев Г.В. Использование математического моделирования для ресурсосберегающих пищевых производств // Научный журнал НИУ ИТМО серия "Процессы и аппараты" -2014. - № 2(18). – С. 1-10.
2. Аксенова О.И., Куликова М.Г. Математическое моделирование пищевых многокомпонентных продуктов с учетом взаимодействий рецептурных составляющих // Информатика, математическое моделирование, экономика: сборник статей по итогам четвертой Международной научно-практической конференции - 2014. - Т. 1. - С. 100-104.
3. Введение в математическое моделирование / Вороненко Б.А, Крысин А.Г., Пеленко В.В. С-Петербург: Национальный исследовательский университет ИТМО, 2012 – 44 с.

## 1.2. ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

### УГЛЕКИСЛОТНАЯ КОРРОЗИЯ НА ОБЪЕКТАХ ВТОРОГО УЧАСТКА АЧИМОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ УРЕНГОЙСКОГО НГКМ

*Корякин Александр Юрьевич*

*Генеральный директор,  
Общество с ограниченной ответственностью  
«Газпром добыча Уренгой»,  
РФ, г. Новый Уренгой*

### CARBON DIOXIDE CORROSION AT THE OBJECTS OF THE SECOND DISTRICT OF ACHIMOVSK DEPOSITS OF URENGOY OIL AND GAS BEARING COMPLEX

*Alexander Koriakin*

*General manager,  
Limited Liability Company “Gazprom dobycha Urengoy”,  
Russia, Novy Urengoy*

**Аннотация.** Для оценки коррозионной ситуации необходимо было разработать систему коррозионного мониторинга применительно к объектам ООО «Газпром добыча Уренгой», включающую разработку устройств, позволяющих проводить измерения скорости коррозии в трубопроводах с рабочими давлениями до 40 МПа. В качестве метода исследований использовался гравиметрический метод, основанный на измерении потери массы образцов-свидетелей коррозии, экспонируемых в рабочей среде. Использование разработанной и внедренной системы позволяет получать необходимые данные для прогнозирования сроков службы оборудования, уменьшения количества отказов и в целом повысить безаварийную эксплуатацию трубопроводов и оборудования.

**Abstract.** To assess the corrosion situation, it was necessary to develop the corrosion monitoring system suitable for “Gazprom Dobycha Urengoy” LLC objects, which should have contained the development

of equipment, which allows to measure the speed of corrosion in the pipes with working pressure 40 MPa. As the research method we have used the gravimetric method, based on the measurement of the mass loss of the corrosion control sample exposed to the working environment. Application of the developed and implemented system allows getting necessary data for prognostication of terms of equipment service, reduction of number of failures and for increasing of accident-free operation of pipelines and equipment in general.

**Ключевые слова:** коррозионный мониторинг; углекислотная коррозия; ачимовские отложения; Уренгойское НГКМ.

**Keywords:** corrosion monitoring; carbon dioxide corrosion; achimovsk deposits; Urengoy oil and gas bearing complex

### Введение

Проблема углекислотной коррозии при разработке газоконденсатных месторождений вновь приобрела актуальное значение в связи с началом разработки новых месторождений, расположенных в северных регионах Российской Федерации [3-5, 11, 13]. Высокая степень агрессивности CO<sub>2</sub> отмечается в продукции ачимовских отложений первого и второго участка Уренгойского месторождения, ачимовских отложений в пределах Самбургского лицензионного участка ОАО «Арктикгаз», Бованенковского НГКМ. Однако разработка залежей, с содержанием CO<sub>2</sub> в газе более 1 % и пластовыми температурами более 80 °С, началась в России в 1965-1970 годах в Краснодарском и Ставропольском краях. Именно тогда советские специалисты впервые столкнулись с катастрофическими последствиями воздействия CO<sub>2</sub>. Глубина проникновения локальной коррозии в НКТ достигала 7-8 мм/год, шлейфовые трубопроводы корродировали по нижней образующей на глубину 3-5 мм/год. В 1978-1980 гг. были отмечены первые факты интенсивной коррозии трубопроводов в системах сбора нефти Самотлорского и ряда других нефтяных месторождений Западной Сибири.

С проблемами углекислотной коррозии в большей степени сталкиваются нефтедобывающие компании, применяющие закачку CO<sub>2</sub> в пласт для повышения нефтеотдачи [1, 2, 8]. В настоящее время в мире реализуется 130-140 проектов по закачке углекислого газа, из которых 90% реализуются в США [14]. Залежи природного газа, обогащенного углекислым газом, распространены преимущественно в западных штатах США – Монтана, Колорадо, Юта и Нью-Мексико. Некоторые залежи природного газа в Калифорнии содержат до 49 % углекислого газа. Наивысшие известные его концентрации отмечаются в залежах

Нью-Мексико, где доля углекислого газа составляет в некоторых случаях 99 %. Добываемый и вырабатываемый углекислый газ собирается в сети трубопроводов, общая протяженность которых составляет 7,2 тыс. км и используется для закачки в залежи нефтяных месторождений. Подготовка двуокиси углерода, с извлечением воды и других компонентов, исключает вероятность протекания коррозии при транспортировке  $\text{CO}_2$  в жидкой фазе по трубопроводам, изготовленных из углеродистых сталей [15].

Крупнейшим в настоящее время проектом, по извлечению  $\text{CO}_2$  из природного газа является проект «Горгон». Газ из залежей группы газовых месторождений, расположенных примерно в 130 километрах от северо-западного побережья Западной Австралии, содержит около 14 % двуокиси углерода. При сжижении газа, из него извлекается ежегодно 3-4 млн. тонн  $\text{CO}_2$ , который закачивается в пласты на глубину 2 км.

В 2008 году ПАО «Газпром» начало разработку ачимовских отложений Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения. Совместным российско-немецким предприятием ЗАО «Ачимгаз» введена в эксплуатацию установка комплексной подготовки газа № 31 (ГКП-31) для разработки первого лицензионного участка. В октябре 2009 года в эксплуатацию запущен газоконденсатный промысел № 22 (ГКП-22), разрабатывающий второй участок. Разработка и обустройство ачимовских отложений на всех лицензионных участках является одним из основных направлений развития ПАО «Газпром» в ближайшие годы.

В 2014 году при проведении плановых работ по ревизии фонтанной арматуры АФ6Д-80/65×700 К1 ХЛ газоконденсатной скважины № 2114 ГКП-22 был выявлен пропуск пластовой смеси по фланцевому соединению крестовины ЕФ6Д-80/65×700 К1 ХЛ и аварийной (контрольной) задвижки ЗМС-65×700 К1 ХЛ. После чего было принято решение о необходимости остановки скважины и разгерметизации фланцевого соединения. В ходе осмотра уплотнительного кольца БХ154 и фланцевого соединения было выявлено разрушение уплотнительного кольца (Рис. 1) и места посадки уплотнительного кольца на крестовине и запорной арматуре.



**Рисунок 1. Коррозионное разрушение уплотнительного кольца**

В ходе замены крестовины было установлено наличие повреждения места посадки под уплотнительное кольцо на надкоренной запорной арматуре ЗМСГ-80×700 К1 ХЛ, а также нарушения целостности проходного сечения надкоренной запорной арматуры ЗМСГ-80×700 К1 ХЛ и коренной запорной арматуры ЗМС-80×700 К1 ХЛ. Позже были выполнены работы по замене надкоренной и коренной запорной арматуры с заменой уплотнительных колец. В ходе проведения работ по замене запорной арматуры было установлено нарушение целостности проходного сечения переводника трубной головки Флан. 3 1/16"-10000-VX154 и места под посадку уплотнительного кольца. После чего была проведена ревизия элементов фонтанных арматур скважин ачимовского горизонта, и были выявлены аналогичные повреждения.

В феврале 2016 года были выявлены коррозионные повреждения внутренней поверхности одного из газосборных коллекторов. Газосборный коллектор предназначен для транспорта углеводородной смеси от куста газоконденсатных скважин ачимовских отложений до газоконденсатного промысла. Общая протяженность газопровода составляет 4712 м. Ввод в эксплуатацию осуществлен 31.12.2010. Материальное исполнение трубы сталь марки 09Г2С. Основные параметры эксплуатации газопровода №213: давление 13 МПа, температура среды 25-37 °С. Потенциальное содержание C5+ в на пластовый и «сухой» газ составило соответственно 276 и 291 г/м<sup>3</sup>, удельное содержание воды на газ сепарации 7 г/м<sup>3</sup> газа. Процесс коррозии проходил преимущественно по нижней образующей трубы. Коррозионные повреждения имели локальный характер с характерными язвами и питтингами.

Углеводороды сами по себе не являются агрессивными средами. И для коррозионного процесса в их составе должны содержаться коррозионно-активные компоненты, такие как кислород, сероводород или углекислый газ. В составе пластового газа ачимовских отложений УНГКМ,  $\text{CO}_2$  присутствует в пределах 0,7-1,0 % мольн. или 1,0-1,4 % масс. По данным газоконденсатных исследований скважин содержание  $\text{CO}_2$  в добываемом пластовом газе составляет:

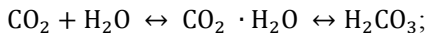
- по скважинам ГКП-31 0,69-0,86 % мольных, среднее значение – 0,8 %;
- по скважинам ГКП-22 0,84-0,95 % мольных, среднее значение – 0,9 %.

Одним из факторов, влияющим на скорость протекания углекислотной коррозии, является парциальное давление  $\text{CO}_2$  [6]. Парциальное давление для типичных условий устья скважин ачимовских отложений было рассчитано на примере скважины № 2114 при мольном содержании  $\text{CO}_2$  – 0,9 % и рабочем давлении – 23 МПа.

$$P_{\text{парц}} = \frac{0,9 \cdot 23}{100} = 0,21 \text{ МПа};$$

Диапазон парциальных давлений углекислого газа для условий забоя составляет 0,2-0,4 МПа. В соответствии с нормативной документацией ПАО «Газпром» ачимовский газ по степени агрессивности является высоко агрессивным [12]. Наличие минерализованной воды и высокая температура еще более усиливают коррозионную агрессивность.

Из-за высоких парциальных давлений  $\text{CO}_2$  добываемый из скважин водный конденсат представляет собой раствор угольной кислоты. Угольная кислота образуется при растворении в воде диоксида углерода в соответствии со следующей реакцией:



Углекислотная коррозия обусловлена влиянием содержащегося в пластовой воде  $\text{CO}_2$  на процессы анодного растворения железа. Углекислый газ в водном растворе может находиться различных формах: в растворенной форме, в виде недиссоциированных молекул угольной кислоты, бикарбонат-ионов ( $\text{HCO}_3^-$ ) и карбонат-ионов ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). В равновесных условиях соблюдается баланс между всеми четырьмя формами. Соотношение между формами  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  зависит от водородного показателя pH. С увеличением pH растет содержание ионов  $\text{HCO}_3^-$ . При pH = 8,4 в воде присутствуют только бикарбонат-ионы, а при pH = 12 – только карбонат-ионы.

Одновременное присутствие вышеуказанных ионов в добываемом продукте обуславливает возможность образования различных трудно-растворимых соединений, часть из которых образует пленку на поверхности металла. Данные пленки при определенных условиях могут выступать в роли защитных, предотвращая попадание агрессивной среды на оголенный металл [7, 9]. Как правило, пленки, обладающие хорошими защитными свойствами (состоящие преимущественно из  $\text{FeCO}_3$ ) начинают образовываться при температурах от  $75^\circ\text{C}$  и парциальном давлении  $\text{CO}_2$  выше 0,8 Мпа [10]. Параметры сред при добыче газа ачимовских отложений УНГКМ значительно ниже, соответственно образование полноценных защитных пленок маловероятно.

### **Материалы и Методы**

Поэтому для получения всей информации о коррозионной агрессивности среды на различных участках объектов УКПГ-22, была разработана система коррозионного мониторинга, позволяющая определять скорости коррозии оборудования по цепочке движения добываемого продукта от скважин до пункта измерения расхода коммерческого газа. Данная система включает в себя два типа узлов контроля скорости коррозии.

За основу измерений был взят гравиметрический контроль скорости коррозии. Гравиметрический метод основан на принципе измерения потери массы образцов-свидетелей коррозии, экспонируемых в среде рабочего продукта. В качестве образцов-свидетелей коррозии используются образцы, изготовленные, как правило, из металла аналогичного металлу исследуемого оборудования. В рамках описываемых исследований использовались образцы-свидетели, изготовленные из стали 09Г2С.

До начала разработки данных устройств рассматривалось большое количество стандартных вариантов установки образцов-свидетелей в поток среды, но каждый из способов предполагал изменение конструкции трубопроводов, требующих согласование проектных институтов. Поэтому для трубопроводов с высоким давлением, на которых отсутствуют штуцеры для защитных гильз, были разработаны межфланцевые узлы контроля скорости коррозии (Рис. 2), а для трубопроводов, где имеются штатные места для монтажа термокарманов – гравиметрические кассеты (Рис. 3).





*Рисунок 2. Монтаж межфланцевого узла контроля скорости коррозии*



*Рисунок 3. Монтаж гравиметрической кассеты*

### Результаты

В настоящий момент времени проводится коррозионный мониторинг в трубопроводах обвязки скважин ачимовских отложений, трубопроводах системы сбора газа, технологических трубопроводах установки комплексной подготовки газа № 22 (УКПГ-22) с использованием межфланцевых узлов контроля скорости коррозии и гравиметрических кассет. На рисунке 4 представлены скорости коррозии на трубопроводах обвязки скважин, расположенных до регулятора давления (рабочее давление до 40 МПа, температура 40-60°C), на рисунке 5 – скорости коррозии после регулятора давления (рабочее давление до 12,5 МПа, температура до 30°C).

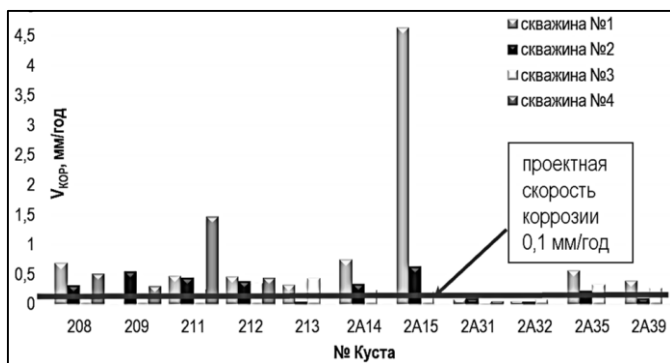


Рисунок 4. Скорости коррозии на трубопроводах обвязки скважин, расположенных до регулятора давления

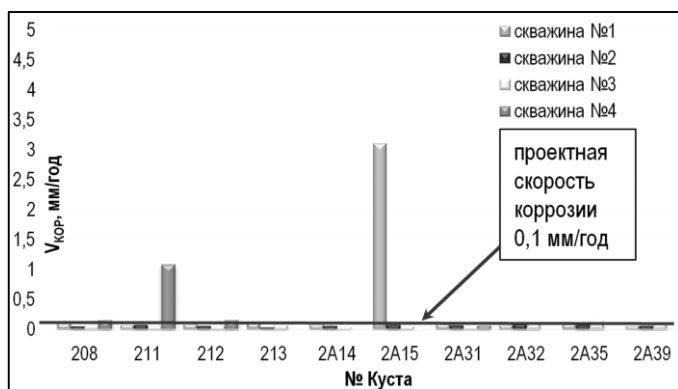


Рисунок 5. Скорости коррозии на трубопроводах обвязки скважин, расположенных после регулятора давления

### **Обсуждение**

Практически на всех скважинах скорость коррозии на участках трубопроводов до регулятора давления превышает значение 0,1 мм/год, заложенное проектом, как максимально допустимое. Стоит отметить, что на данном участке рабочее давление достигает значений в 40 МПа, а температура добываемого продукта варьируется в пределах от 40 до 60 °С, что в свою очередь создает благоприятные условия для протекания углекислотной коррозии. Поэтому закономерно, что на некоторых скважинах отмечено значительное превышение проектной скорости коррозии. По данным этих измерений максимальная скорость зафиксирована на скважине 2А151. Скорость верхнего образца составила 0,23 мм/год, скорость среднего – 1,41 мм/год, нижнего – 4,63 мм/год.

Необходимо обратить внимание, что на подавляющем большинстве узлов контроля скорости коррозии, скорость коррозии на нижних образцах-свидетелях выше, чем на средних и верхних. Такая градация скорости коррозии от положения образца в узле объясняется осаждением воды в дисперсионном состоянии в нижней части потока, под действием сил гравитации, т. к. вода имеет наибольшую плотность из всех компонентов смеси флюида. Растворенный в пластовой и конденсационной воде углекислый газ создает идеальные условия для протекания интенсивной коррозии. Верхние образцы, находясь в потоке газа, с меньшим содержанием жидкости, корродируют с меньшей скоростью ввиду присутствия меньшего количества агрессивных компонентов.

На трубопроводах обвязки скважин после регулятора давления скорость коррозии уменьшается. Это происходит из-за снижения рабочего давления до 12,5 МПа и температуры до 30°С. В целом, на данном участке агрессивность добываемого продукта снижается, однако несмотря на этот факт, присутствуют скважины с завышенными скоростями коррозии.

Дополнительно были проведены измерения скорости коррозии в конце газосборных коллекторов в здании переключающей арматуры, в цехах подготовки газа и пункте измерения расхода газа. Полученные значения находятся в допустимых пределах (на два порядка ниже проектного максимального значения). Это также объясняется естественным снижением коррозионной агрессивности по ходу движения добываемого продукта.

### **Выводы**

Таким образом, проблема углекислотной коррозии, возникшая в ООО «Газпром добыча Уренгой» одновременно с началом разработки ачимовских отложений, положила начало изучению агрессивности

добываемого продукта и разработки системы коррозионного мониторинга, первоначальной целью которой было получение информации по текущему коррозионному состоянию объектов и коррозионной агрессивности добываемого продукта.

По результатам проведенной работы было определено, что газ ачимовских отложений УНГКМ обладает высокой коррозионной агрессивностью. Образование плотных защитных пленок из продуктов коррозии на поверхности металла в условиях добычи газа ачимовских отложений УНГКМ маловероятно.

Для отслеживания агрессивности флюида на различных участках была разработана система коррозионного мониторинга. Данная система позволяет проводить измерения скорости коррозии на трубопроводах с высоким рабочим давлением. Для получения возможности проведения коррозионного мониторинга на участках с высокими давлениями специалистами Общества был разработан межфланцевый узел контроля скорости коррозии, работающий при давлениях до 40 МПа. Преимуществом данного устройства также является возможность измерения скорости коррозии без внесения изменений в конструкцию трубопроводов. Для монтажа межфланцевых узлов и гравиметрических кассет не требуется проведение сварочных работ, отсутствует необходимость капитального монтажа дополнительного оборудования. Установка межфланцевых узлов осуществляется в имеющиеся фланцевые пары на трубопроводах, гравиметрические кассеты устанавливаются в резервные бобышки, предназначенные для монтажа термокарманов. Таким образом, после проведенных замеров скоростей коррозии и демонтажа оборудования технологическая схема трубопроводов остается в исходном состоянии.

Использование разработанной и внедренной системы позволяет получать необходимые данные для прогнозирования сроков службы оборудования, уменьшения количества отказов и в целом повысить безаварийную эксплуатацию трубопроводов и оборудования.

### **Список литературы:**

1. Артеменков В.Ю., Корякин А.Ю., Дикамов Д.В. Организация коррозионного мониторинга на объектах второго участка ачимовских отложений Уренгойского НГКМ // Газовая промышленность. – 2017. – Спецвып. № 2. – С. 74-78.
2. Доманский В.О., Бриков А.В., Маркин А.Н., Суховерхов С.В. Метод оценки скорости углекислотной коррозии трубопроводов систем сбора нефти // Нефтепромысловое дело. – 2016. – № 11. – С. 51-54.

3. Ерехинский Б.А., Исаев А.Н., Осипова Г.Н. и др. К вопросу о причинах коррозионного разрушения элементов фонтанной арматуры на скважине № 2114 УКПГ-22 ачимовских отложений Уренгойского НГКМ // Коррозия. Территория Нефтегаз. – 2016. – № 1. – С. 32-34.
4. Ерехинский Б.А., Чернухин В.И., Попов К.А., Ширяев А.Г. Трубы нефтяного сортамента, стойкие против углекислотной коррозии // Территория Нефтегаз. – 2016. – № 6. – С. 72-76.
5. Кашковский Р.В., Ибатуллин К.А. Некоторые аспекты углекислотной коррозии стального оборудования и трубопроводов нефтегазовых промыслов // Наука и техника в газовой промышленности. – 2016. – № 3. – С 71-91.
6. Корякин А.Ю., Кобычев В.Ф., Колинченко И.В. Условия протекания углекислотной коррозии на объектах добычи ачимовских отложений, методы контроля и прогнозирования // Газовая промышленность. – 2017. – № 12. – С. 84-89.
7. Кравцов В.В. Коррозия и защита нефтезаводского и нефтехимического оборудования / В.В. Кравцов, О.Р. Латыпов, О.А. Макаренко, И.Г. Ибрагимов. – М.: Химия, 2010. – 344 с.
8. Малышев Д.А., Волочанинов Н.В. Противокоррозионная защита и контроль коррозионных процессов промышленных объектов ООО «Газпром добыча Астрахань» // Материалы отраслевого совещания по вопросам защиты от коррозии. (Астрахань, 17-21 мая 2010 г.). – Москва, 2010. – С. 64-74.
9. Маркин А.Н. CO<sub>2</sub>-коррозия нефтепромыслового оборудования / А.Н. Маркин, Р.Э. Низамов. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2003. 187 с.
10. Нурғалиев Д.М., Маняченко А.В. Система противокоррозионной защиты на ОНГКМ // Газовая промышленность. – 2008. – № 7. – С. 80-82.
11. Парсегов С. CO<sub>2</sub>-EOR Парниковый эффект в добыче нефти // Нефтегазовая Вертикаль. – 2017. – №13-14. – С 102-103.
12. СТО Газпром 9.3-011-2011. Защита от коррозии. Ингибиторная защита от коррозии промышленных объектов и трубопроводов. Основные требования. – М.: Газпром экспо, 2011. – 34 с.
13. Хайдерсбах Р. Защита от коррозии и металловедение оборудования для добычи нефти и газа. – Спб.: ЦОП «Профессия», 2015. – 480 с.
14. Gavanluei B., Mishra B., Olson D.L. Corrosion Rate Measurement of a Downhole Tubular Steel at Different CO<sub>2</sub> Partial Pressures and Temperatures and Calculation of the Activation Energy of the Corrosion Process. NACE Conference CORROSION, 2013, Paper 2298.
15. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2005.

## КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ ГАЗА В УСЛОВИЯХ РАЗРАБОТКИ УРЕНГОЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Корякин Александр Юрьевич*

*Генеральный директор,  
Общество с ограниченной ответственностью  
«Газпром добыча Уренгой»,  
РФ, г. Новый Уренгой*

## COMPLEX USAGE OF GAS PRODUCTION OBJECTS IN THE CONDITIONS OF URENGOY FIELD DEPOSIT DEVELOPMENT

*Alexander Koriakin*

*General manager,  
Limited Liability Company “Gazprom dobycha Urengoy”,  
Russia, Novy Urengoy*

**Аннотация.** Одной из проблем при эксплуатации объектов сеноманского и валанжинского комплексов является высвобождение мощностей оборудования подготовки и компримирования газа. При этом требуется ввод установок подготовки газа для добычи углеводородов из залежей ачимовской толщи. Целью исследований данной работы является разработка технических решений по оптимизации загрузки существующего оборудования и снижения затрат для ввода новых объектов обустройств месторождения. В статье сообщается о разработанных в ООО «Газпром добыча Уренгой» технических решениях по повышению загрузки существующего оборудования основанных на проведенных аналитических расчетах и технологическом моделировании процессов подготовки и компримирования газа.

**Abstract.** One of the problems of the exploitation of cenoman and valanginian complexes is release of the capacity of machines for gas processing and compression. Herewith it is needed to input the processing plants for hydrocarbon extraction from the deposits of achimovsk stratum. The aim of this work's research is to develop technical decisions for optimization of existing machines work load and reduction of expenditures for implementation of new objects of deposits development. The article informs about the technical decisions for increase of work load of existing machines, developed in “Gazprom Dobycha Urengoy” LLC and based

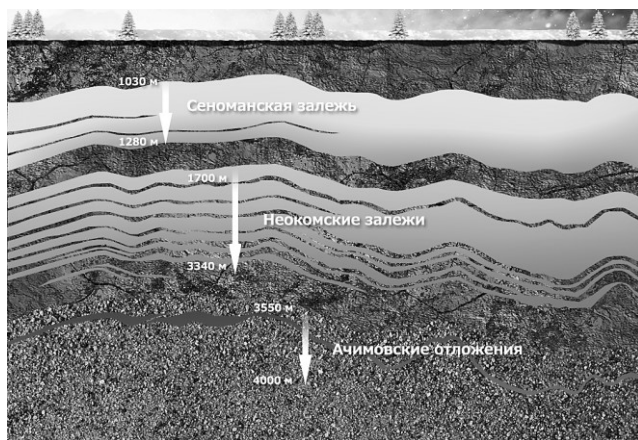
on the analytical calculations and technological modeling of gas processing and compression processes.

**Ключевые слова:** установка комплексной подготовки газа; газоперекачивающих агрегат; загрузка технологического оборудования; совместная эксплуатация промыслов; залежи ачимовской толщи; установка предварительной подготовки газа.

**Keywords:** central gas processing facility; gas compressor unit; work load of technological equipment; common exploitation of the deposits; achimovsk stratum deposits; preliminary gas processing terminal.

### Введение

Площадь Уренгойского НГКМ, одного из крупнейшего в мире расположенных на суше, составляет более 5 тысяч квадратных километров. В разрезе месторождений Большого Уренгоя выделено три этажа газоносности (Рис. 1). Верхний этаж газоносности – сеноманские газовые залежи, залегающие на глубине 1030-1280 м. Средний этаж газоносности – нижнемеловые нефтегазоконденсатные залежи, образующие самостоятельные месторождения: Уренгойское, Ен-Яхинское, Северо-Уренгойское и Песцовое. Залежи этих месторождений относятся к валанжинским отложениям, в которых выделяются до 17 газоносных пластов на глубинах от 1700 до 3340 м. Нижний этаж газоносности – нефтегазоконденсатные залежи ачимовской толщи, располагаются на глубине от 3550 до 4000 м. Разработка сеноманских, валанжинских и ачимовских залежей осуществляется соответственно с 1978, 1985 и 2008 годов.



**Рисунок 1. Геологический профиль Уренгойского месторождения**

Уникальность Уренгойского месторождения по геологическому строению и запасам сырья обусловила необходимость поиска новых подходов к разработке, обустройству и эксплуатации месторождений. При обустройстве была применена групповая децентрализованная схема сбора. Ее особенностью является обработка углеводородного сырья на нескольких УКПГ большой производительности и подача от них продукции в газотранспортную систему через межпромысловый коллектор. В эксплуатации находятся 16 УКПГ для добычи газа из сеноманской залежи, 5 УКПГ для добычи газа из валанжинской залежи, 2 ЦПС для добычи нефти, 2 УКПГ для добычи газа из ачимовских залежей. Сбор подготовленного газа осуществляется в межпромысловый коллектор, который связывает УКПГ и ЦПС с головными компрессорными станциями. Конденсат транспортируется по системе трубопроводов на Завод по подготовки конденсата к транспорту ООО «Газпром переработка», а нефть направляется в конденсатопровод «Уренгой-Сургут».

На месторождениях Большого Уренгоя для подготовки сеноманского газа была применена технология абсорбционной осушки диэтиленгликолем, а для подготовки валанжинского газа технология низкотемпературной сепарации (НТС). С целью поддержания необходимого давления на выходе с установок подготовки газа были введены дожимные компрессорные станции на сеноманских УКПГ. Они состоят из двух цехов компримирования с газоперекачивающими агрегатами (ГПА) единичной мощностью 16 МВт. На валанжинских УКПГ собственные ДКС введены на четырех установках с газоперекачивающими агрегатами единичной мощностью 10 МВт, еще на одной установке (УКПГ-11В) планируется ввод ДКС.

Любое месторождение нефти и газа переживает периоды роста объемов добычи, их стабилизации, а затем снижение вследствие уменьшения запасов углеводородов и падения пластового давления [3]. Каждый из этих периодов требует решения специальных задач при эксплуатации месторождения. Так если в периоды роста объемов добычи и их стабилизации требуется ввод в эксплуатацию оборудования добычи, подготовки и компримирования газа, то снижение объемов добываемого газа приводит к ухудшению условий эксплуатации промышленного оборудования и требует совершенствования технологических процессов добычи и подготовки газа, а также ликвидации оборудования [2, 4].

Максимальная добыча сеноманского газа была достигнута в 1987 году. По сравнению с пиковым уровнем, добыча газа к настоящему времени сократилась примерно в 5 раз, что привело к снижению загрузки цехов очистки, осушки и компримирования газа, избыток мощностей

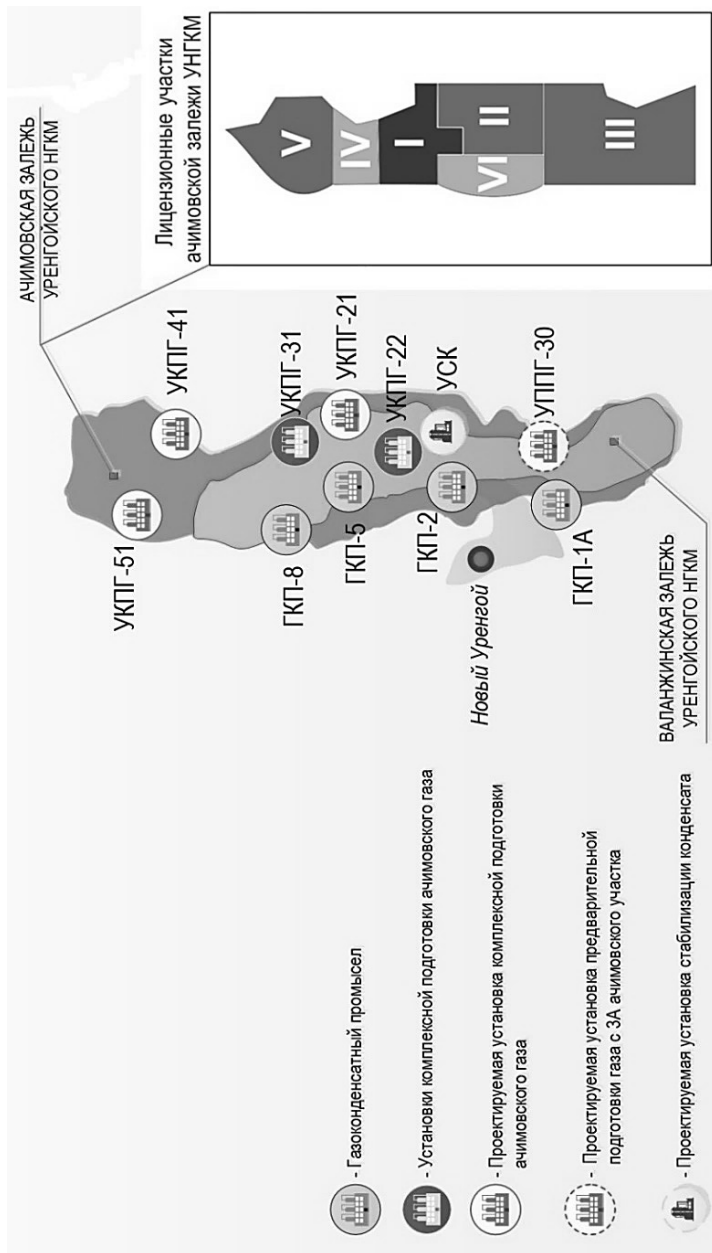


основного технологического оборудования на сегодняшний день составляет порядка 80 %. Для обеспечения необходимой загрузки сепараторов и аппаратов осушки газа производится вывод из эксплуатации технологических ниток. На ДКС такое решение применить невозможно из-за высокой единичной мощности, установленных ГПА. Поэтому основной проблемой дожимного комплекса является снижение загрузки оборудования ниже номинальной производительности.

В то время, когда сеноманская залежь находилась в периоде падающей добычи, валанжинские промыслы эксплуатировались с постоянной добычей. Проектные решения предусматривали на этих промыслах ввод компрессорных цехов и применение схем эксплуатации на первом этапе ДКС-УКПГ и на втором этапе ДКС-ДКС-УКПГ. В ООО «Газпром добыча Уренгой» были разработаны технологические схемы совместной эксплуатации сеноманских и валанжинских промыслов, которые позволили оптимизировать процесс подготовки газа и конденсата на валанжинских УКПГ за счет применения схемы компримирования газа УКПГ-ДКС. При этом компримирование газа осуществлялось путем подачи газа сепарации на сеноманскую ДКС, что оптимизировало работу пяти дожимных компрессорных станций сеноманских УКПГ. Важным достоинством реализованных технических решений явился отложенный на несколько лет ввод валанжинских ДКС и снижение их мощности [1].

Полученный опыт совместной эксплуатации сеноманских и валанжинских промыслов был положен в основу технических решений по совместной эксплуатации сеноманских промыслов. Газ с промыслов «сателлитов» направляется на головные промыслы, на которых проходит подготовку до нормативных требований и компримирования для транспортировки [5].

В настоящее время валанжинские залежи вступили в период падающей добыче, вследствие чего на промыслах происходит высвобождение мощностей подготовки и компримирования газа. Для поддержания уровня производства углеводородов в условиях снижения добычи газа из сеноманских и валанжинских залежей ООО «Газпром добыча Уренгой» приступило к освоению залежей ачимовской толщи Уренгойского месторождения. Проектными решениями по обустройству участков ачимовских УКПГ предусматривается строительство 6-ми УКПГ для подготовки газа на 5-ти ачимовских участках (1А-5А) (Рис. 2). При снижении пластового давления на каждой установке предусмотрен ввод первого и второго цеха дожимной компрессорной станции (ДКС). В 2008 году, совместным российско-немецким предприятием ЗАО «Ачимгаз» в эксплуатацию запущен первый участок (УКПГ-31), а в 2009 году ООО «Газпром добыча Уренгой» в эксплуатацию введен газоконденсатный промысел второго участка (УКПГ-22).



**Рисунок 2. Схема расположение объектов УНГКМ**

В основу технологической схемы подготовки углеводородов на УКПГ-22 и УКПГ-31 был положен процесс обработки флюида методом низкотемпературной сепарации, технологические решения выполнены по аналогии со схемой подготовки газа на валанжинских УКПГ. Проектные решения предусматривают аналогичные технические решения и на планируемых к вводу ачимовских УКПГ. Проектирование и ввод в эксплуатацию первого и второго участков ачимовской залежи осуществлялось в то же время, когда газоконденсатные промыслы УНГКМ эксплуатировались с высокой нагрузкой. Поэтому возможность использования оборудования НТС валанжинских промыслов для подачи ачимовского газа не рассматривалась. Однако ожидаемое высвобождение мощностей валанжинских промыслов Уренгойского комплекса открывает новые возможности по использованию существующих объектов инфраструктуры для подготовки газа ачимовских залежей.

### **Материалы и Методы**

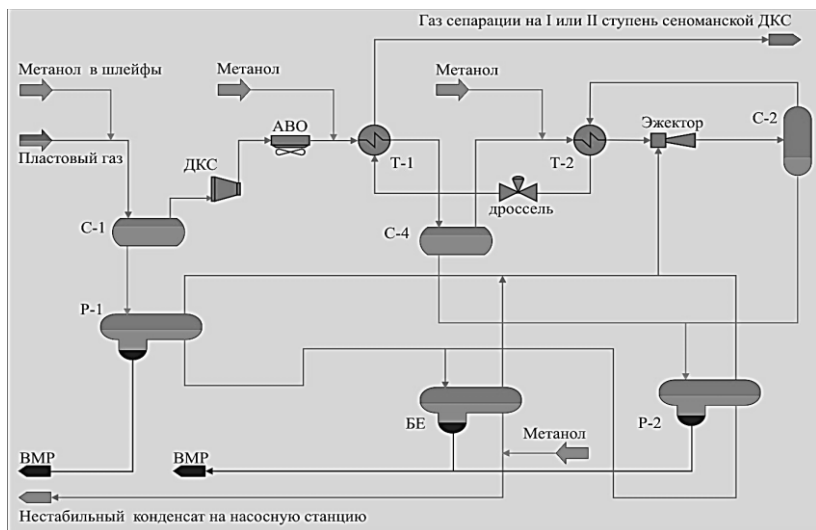
В качестве исходных данных о составах пластового газа использованы результаты газоконденсатных исследований ачимовских и валанжинских скважин Уренгойского месторождения. Для прогноза изменения состава пластового газа выполнялись расчеты фазовых равновесий газоконденсатных смесей и моделирования технологических процессов с использованием методов прикладной термодинамики. Технологическое моделирование работы комплекса «газосборная сеть – установка комплексной подготовки газа – межпромысловый коллектор» при многовариантных сочетаниях технологических схем подготовки, термобарических и расходных параметров проведено в программной системе «ГазКондНефть». Адаптация технологической модели установки низкотемпературной сепарации выполнена по результатам промысловых исследований эффективности оборудования УКПГ-1АВ.

### **Результаты**

Валанжинские залежи УНГКМ имеют более высокие начальные пластовые давления, по сравнению с сеноманскими. Относительно умеренный темп отбора газа из валанжинских залежей позволил их разрабатывать практически с постоянным уровнем отбора, максимальные уровни добычи были достигнуты в 2004 году. В настоящее время давление пластового газа, поступающего на валанжинские УКПГ, изменяется от 3,5 до 5,0 МПа. Принципиальная схема валанжинской установки низкотемпературной сепарации показана на рисунке 3.

Пластовый газ проходит первичную сепарацию и направляется на дожимную компрессорную станцию. После повышения давления и охлаждения газа в аппарате воздушного охлаждения, он сепарируется

в три ступени с охлаждением газа в теплообменниках и с помощью эжектора. Отсепарированный газ после нагрева в теплообменниках выводится из установки и подается на 2-ю ступень сжатия рядом расположенной сеноманской ДКС. А жидкость из сепараторов направляется на разделение на углеводородную, водную и газовую фазы в разделители Р-1 и 2 и буферную емкость. Нестабильный конденсат с установки направляется по трубопроводу на центральную насосную станцию перекачки конденсата и на Завод подготовки конденсата к транспорту. Водометанольный раствор из разделителя Р-2 и буферной емкости с концентрацией метанола до 70 % масс. используется для ингибирования шлейфов валанжинских промыслов, а из разделителя Р-1 с концентрацией метанола до 10 % масс. на УКПГ-1АВ и 5В направляется на установку регенерации метанола, а на УКПГ-2В и 8В закачивается в пласт. Газ дегазации из разделителей Р-1 и Р-2, а также буферной емкости утилизируется с помощью эжектора.



**Рисунок 3. Технологическая схема подготовки валанжинского газа**

По сравнению с пиковым уровнем, добыча валанжинского газа к настоящему времени сократилась незначительно. В таблице 1 приведена загрузка оборудования низкотемпературной сепарации и газоперекачивающих агрегатов на валанжинских УКПГ Уренгойского месторождения. Как видно, наименьшую загрузку оборудования подготовки газа

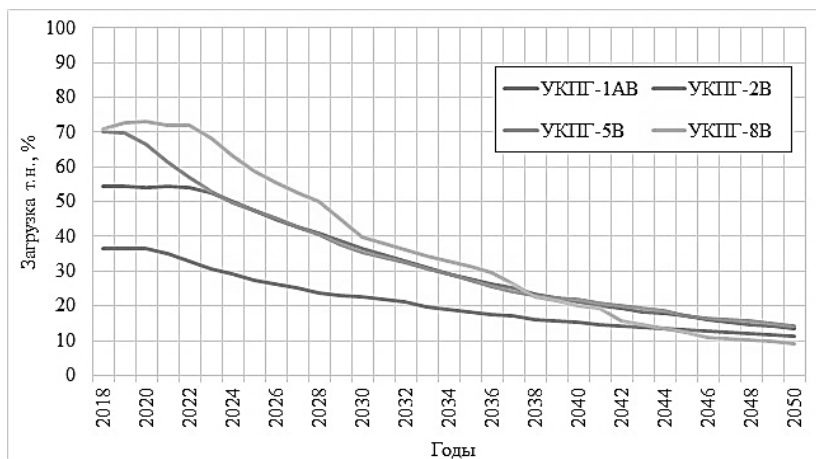
имеют УКПГ-2В, а по остальным УКПГ загрузка оборудования составляет 72-98 %. При этом следует отметить, что на УКПГ-1АВ имеется наибольшее количество технологических ниток для подготовки газа. Загрузка газоперекачивающих агрегатов минимальна на УКПГ-2В и 8В, а на УКПГ-1АВ и 5В она составляет соответственно 38 и 47 %. При этом ступень сжатия перед валанжинской УКПГ оснащена 4 ГПА на УКПГ-1АВ и 2В и 3 ГПА на УКПГ-5В и 8В.

Таблица 1.

**Количество технологических ниток и ГПА на валанжинских  
УКПГ Уренгойского месторождения и их загрузка**

УКПГ	Количество т. н.	Количество цехов НТС	Загрузка т. н.	Количество ГПА	Мощность ДКС*	Загрузка ДКС
	шт.	ед.	%	ед.	МВт	%
1АВ	8	2	54,4	4	30	37,5
2В	6	3	36,4	4	30	24,2
5В	4	2	70,3	3	20	47,1
8В	7	2	70,9	3	20	27,4

В перспективе проектные решения предусматривают снижение добычи газа, что приведет к уменьшению загрузки оборудования технологических ниток низкотемпературной сепарации (Рис. 4). В условиях снижения загрузки валанжинских УКПГ был проработан вопрос использования их высвобождающихся мощностей для подготовки газа залежей ачимовской толщи. В соответствии с проектом разработки ввод в эксплуатацию УКПГ-30 участка 3А Уренгойского НГКМ предусмотрен не ранее 2028 г. Наиболее близко к планируемому месту размещения УКПГ-30 находятся УКПГ-1АВ (около 10 км) и УКПГ-2В (около 20 км). К 2028 году загрузка оборудования низкотемпературной сепарации УКПГ-1АВ и 2В снизится соответственно до 40,8 и 23,7 %.

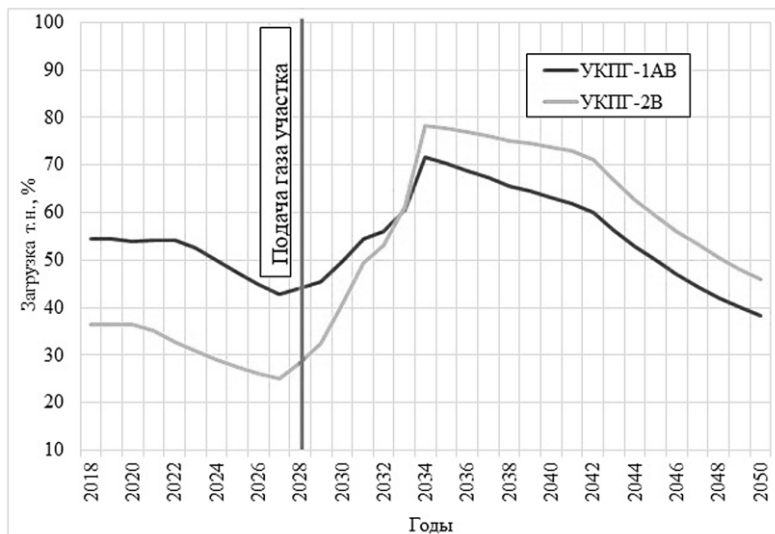


**Рисунок 4. Прогноз загрузки технологических ниток  
низкотемпературной сепарации**

Поэтому была рассмотрена возможность подготовки газа участка 3А на высвобождающихся мощностях УКПГ-1АВ и 2В. Давление валанжинского газа после валанжинской ДКС, поступающего в цеха низкотемпературной сепарации, составляет до 7,4 МПа. А отсепарированный газ с давлением 3,0 МПа смешивается с сеноманским газом и компримируется на 2-й ступени сжатия рядом расположенной сеноманской ДКС для подачи в межпромысловый коллектор. Первоначальное входное давление ачимовского газа на низкотемпературную сепарацию будет составлять 11,0 МПа, при этом выходного давления отсепарированного ачимовского газа достаточно для его подачи в межпромысловый коллектор (5,0-5,5 МПа). Поэтому совместная подготовка валанжинского и ачимовского газа на валанжинском УКПГ должна иметь следующие этапы:

- 1) раздельная схема подготовки валанжинского и ачимовского газа на выделенных технологических нитках валанжинского УКПГ до применения компрессорной эксплуатации для газа ачимовских залежей;
- 2) совместная эксплуатация валанжинского и ачимовского газа путем его смешивания перед подачей на низкотемпературную сепарацию или перед компримированием на валанжинской ДКС.

На рисунке 5 показана прогнозная загрузка технологических ниток УКПГ-1АВ и 2В при подготовке на них валанжинского и ачимовского газа. Как видно подачу ачимовского газа возможно осуществлять на обе установки. Максимальная загрузка составит 71,6 % на УКПГ-1АВ и 78,3 % на УКПГ-2В.



**Рисунок 5. Прогноз загрузки технологических ниток низкотемпературной сепарации УКПП-1АВ и 2В при подаче на них ачимовского газа**

С учетом необходимости раздельной подготовки ачимовского и валанжинского газа на первом этапе эксплуатации более технологичным вариантом является подача ачимовского газа на УКПП-1АВ. Причиной этого является компоновка УКПП, которая состоит из двух технологических цехов низкотемпературной сепарации с 4 технологическими нитками подготовки газа в каждом. На первом этапе валанжинский и ачимовский газ будет обрабатываться в разных технологических цехах, а на втором этапе в обоих технологических цехах будет подготавливаться смешанная газ. В случае подачи ачимовского газа на УКПП-2В возникает необходимость в разделении валанжинского и ачимовского газа между тремя технологическими цехами с 2 технологическими нитками подготовки газа, что технологически более сложно, чем раздельная подача газа в два цеха. Важным достоинством подачи ачимовского газа на УКПП-1АВ является наиболее близкое расстояние этой установки от участка 3А.

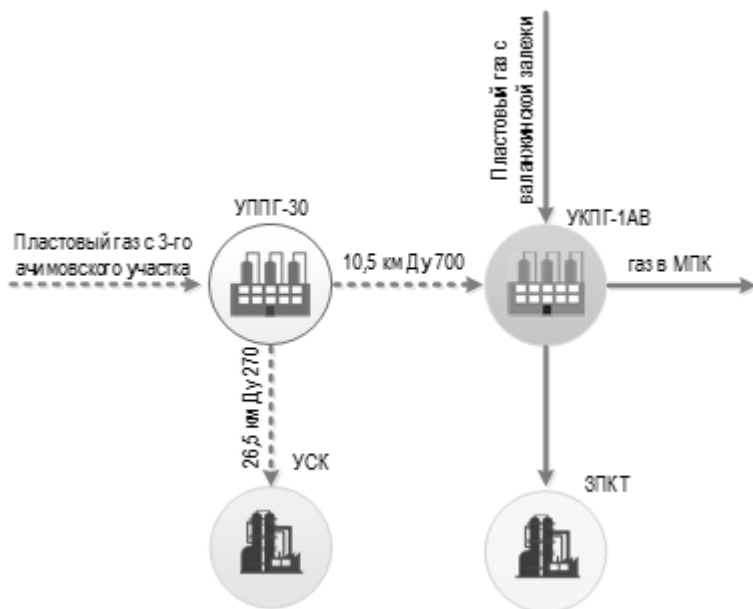
Наличие тугоплавких парафинов в пластовом газе ачимовских залежей ограничивает возможность его транспортировки с валанжинских УКПП по существующему конденсатопроводу. Первой причиной этого является ограничение ЗПКТ на прием парафинистого сырья. На сегодняшний день загрузка завода по подготовке конденсата к транспорту

(ЗПКТ) не позволяет перерабатывать дополнительные объемы «тяжелого» конденсата ачимовских залежей. Поэтому в настоящее время ООО «Газпром переработка» осуществляет строительство установки стабилизации конденсата (УСК) для подготовки к транспорту конденсата с ачимовской залежи. Эксплуатация новых ачимовских промыслов будет синхронизирована с вводом УСК. При этом, учитывая темпы падения объемов добычи углеводородов валанжинской залежи и технологические особенности оборудования ЗПКТ, в дальнейшем возникнет необходимость дозагрузки перерабатывающих мощностей легкими конденсатами. Второй причиной является температура транспортировки валанжинского конденсата при температурах (около 0 °С) способствующих выделению тугоплавких парафинов из ачимовского конденсата. Температура транспортировки конденсата с ачимовских УКПГ составляет не менее 25 °С, для чего применяется нагрев конденсата на УКПГ в теплообменнике «газ-конденсат» и путевой подогрев конденсата.

По аналогии со схемой подготовки валанжинского газа Ямбургского месторождения с применением установок предварительной подготовки газа и окончательной подготовки газа на головном УКПГ [...] предлагается (Рис. 6):

- взамен УКПГ-30 строительство установки предварительной подготовки газа (УППГ-30), укомплектованной минимально необходимым набором технологического оборудования, а именно пробкоуловителями и первичными сепараторами;
- парафинистый нестабильный конденсат с УППГ-30 транспортировать по трубопроводу диаметром 273 мм и длиной 26,5 км на УСК ООО «Газпром переработка» для подготовки к транспорту
- газ первичной сепарации с установки подавать по газопроводу диаметром 720 мм и длиной порядка 10,5 км для окончательной подготовки на УКПГ-1АВ;
- использовать для подготовки газа участка 3А существующие мощности низкотемпературной сепарации, валанжинской ДКС УКПГ-1АВ, а также 2-й ступени сжатия сеноманской ДКС УКПГ-1АС.





**Рисунок 6. Принципиальная схема транспортировки углеводородов с УППГ-30**

Первоначально отсепарированный газ участка 3А поступает в один из цехов УКПГ-1АВ для подготовки на установке низкотемпературной сепарации. После низкотемпературной сепарации газ направляется в межпромысловый коллектор, а «легкий» ачимовский конденсат в цех разделителей, где он будет смешиваться с валанжинским нестабильным конденсатом. Транспортировка смешанного конденсата должна осуществляться по существующему конденсатопроводу от УКПГ-1АВ до насосной станции перекачки конденсата, с которой он поступает на ЗПКТ. Дополнительный объем конденсата ачимовской толщи, полученный на УКПГ-1АВ, позволит частично компенсировать постоянно снижающийся объем жидких углеводородов валанжинской залежи, поддерживая оптимальную загрузку технологического оборудования ЗПКТ.

В дальнейшем для обеспечения параметров процесса НТС потребуется компримирование ачимовского газа. Нами предлагается использовать высвободившиеся мощности ДКС УКПГ-1АВ путем смешивания валанжинского и ачимовского газа и совместной подготовке газа в двух цехах УКПГ-1АВ. Благодаря этому загрузка ДКС увеличится

до 70 %, что позволит исключить из проекта ввод ачимовских дожимных мощностей 3-го участка и оптимально загрузить валанжинские ГПА, тем самым снизив удельное потребление топливного газа.

### **Обсуждение**

Ввод участков залежей ачимовской толщи Уренгойского месторождения требует значительных капитальных значений на строительство установок комплексной подготовки газа. Проведенный анализ загрузки оборудования валанжинских промыслов показал, что актуальной проблемой является высвобождение мощностей технологических ниток установок низкотемпературной сепарации и газоперекачивающих агрегатов. Автором работы были предложены технические решения по оптимизации загрузки оборудования валанжинского УКПГ-1АВ за счет подготовки на его мощностях газа ачимовских залежей участка 3А. Была разработана схема совместной подготовки валанжинского и ачимовского газа, при которой парафинистый ачимовский конденсат отделяется от газа при первичной сепарации на УППГ-30. А отсепарированный газ поступает для совместной подготовки на валанжинскую УКПГ-1АВ. С учетом различного входного давления на УКПГ-1АВ ачимовского и валанжинского газов разработаны этапы совместной подготовки газа. Компримирование товарного газа УКПГ-1АВ будет производиться на 2-й ступени сжатия ДКС сеноманского УКПГ-1АС. Благодаря разработанным схемам совместной подготовки газа отпадает необходимость в строительстве УКПГ-30 и ДКС состоящей из двух цехов компримирования для подготовки ачимовского газа. Кроме этого, из-за появления производства «легкого» конденсата из пластового газа ачимовских залежей частично компенсируется снижение поставок нестабильного конденсата с УКПГ-1АВ на ЗПКТ.

### **Выводы**

Таким образом, в ООО «Газпром добыча Уренгой» ведется планомерная работа по разработке и внедрению инновационных технических решений на основе эффективного использования существующих мощностей оборудования, которые позволяют оптимизировать процесс подготовки газа и конденсата. Использование дожимных мощностей сеноманских и валанжинских УКПГ для компримирования газа ачимовских участков в перспективе позволит отказаться от строительства УКПГ и ДКС на 3-ем участке ачимовских отложений. Разработанные технические решения позволяют повысить рентабельность проекта за счет минимизации строительства основных фондов, сокращения дальнейших эксплуатационных расходов, оптимизации загрузки существующего оборудования УНГКМ.

**Список литературы:**

1. Гриценко А.И. Сбор и промысловая подготовка газа на Северных месторождениях России / А.И. Гриценко, В.А. Истомина, А.Н. Кульков, Р.С. Сулейманов. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 1999. – 473 с.
2. Калинин А.В., Динков А.В., Касперович А.Г., Крушин П.Н., Белянский Ю.Н., Беспрозванный А.В., Ставицкий В.А. Проблемы транспорта и переработки ачимовского конденсата // Газовая промышленность. – 2001. – № 3 (759). – С. 52-32.
3. Корякин А.Ю. Комплексные решения задач разработки и эксплуатации скважин Уренгойского добывающего комплекса. – М.: «Нефть и газ», 2016. – 272 с.
4. Мазанов С.В. Инновационные технические решения по совместной эксплуатации сеноманских и валанжинских промыслов месторождений Большого Уренгоя // С.В. Мазанов, А.Ю. Корякин, Р.В. Абдуллаев, А.А. Типугин / Новые технологии газовой, нефтяной промышленности, энергетики и связи в г. Калининграде 2014 г. Материалы XXII Международного конгресса. Сборник трудов. – Москва, 2015. – Том 22. – С. 104-109.
5. Мазанов С.В., Корякин А.Ю., Семенов В.В., Типугин А.А. Обеспечение устойчивой эксплуатации дожимного комплекса на УКПГ месторождения Большого Уренгоя // Газовая промышленность. – 2015. – №S720. – С. 27-31.

### 1.3. ЭНЕРГЕТИКА

#### ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПТП В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Харитонов Евгений Васильевич**

*студент, Казанский национальный исследовательский  
технологический университета,  
РФ, г. Казань*

**Сафина Дина Наилевна**

*студент, Казанский национальный исследовательский  
технологический университета,  
РФ, г. Казань*

**Колоненкова Ольга Олеговна**

*студент, Казанский национальный исследовательский  
технологический университета,  
РФ, г. Казань*

**Абакумов Евгений Владимирович**

*студент, Казанский национальный исследовательский  
технологический университета,  
РФ, г. Казань*

**Кутлизнамаев Руслан Рустамович**

*студент, Казанский национальный исследовательский  
технологический университета,  
РФ, г. Казань*

**Шарифуллин Искандер Ильдарович**

*студент, Казанский национальный исследовательский  
технологический университета,  
РФ, г. Казань*

**Федотов Данил Михайлович**

*студент, Казанский национальный исследовательский  
технологический университета,  
РФ, г. Казань*

**Идрисов Гадель Ингелевич**

*студент, Казанский национальный исследовательский  
технологический университета,  
РФ, г. Казань*

**Аникина Марина Дмитриевна**

*студент, Казанский национальный исследовательский  
технологический университета,  
РФ, г. Казань*

## **EXPERIENCE IN THE APPLICATION OF ATA IN THE OIL INDUSTRY**

**Evgeny Kharitonov**

*student, Kazan National Research Technological University,  
Russia, Kazan*

**Dina Safina**

*student, Kazan National Research Technological University,  
Russia, Kazan*

**Olga Kolonenkova**

*student, Kazan National Research Technological University,  
Russia, Kazan*

**Evgeny Abakumov**

*student, Kazan National Research Technological University,  
Russia, Kazan*

**Ruslan Kutlizamaev**

*student, Kazan National Research Technological University,  
Russia, Kazan*

**Iskander Shariffulin**

*student, Kazan National Research Technological University,  
Russia, Kazan*

**Danil Fedotov**

*student, Kazan National Research Technological University,  
Russia, Kazan*

**Gadel Idrisov**

*student, Kazan National Research Technological University,  
Russia, Kazan*

**Marina Anikina**

*student, Kazan National Research Technological University,  
Russia, Kazan*

**Аннотация.** Изучается опыт применения и использования специальных полимерных составов для транспортировки углеводородов. Данные добавки – противотурбулентные присадки, нашли широкое применение в технике и позволяют снизить затраты на прокачку и повысить эффективность использования трубопровода.

**Abstract.** The experience of application and use of special polymeric compounds for transportation of hydrocarbons is studied. These additives - anti-turbulent additives, have found wide application in engineering and allow to reduce the costs of pumping and improve the efficiency of the pipeline.

**Ключевые слова:** противотурбулентная присадка; нефть; трубопровод; опытно-промышленный испытания.

**Keywords:** anti-turbulent additive; oil; pipeline; pilot-industrial testing.

Подавляющая часть современных энергетических потребностей человечества обеспечивается нефтью и газом. Рост добычи нефти в мире привел к истощению запасов наиболее качественных и легкодоступных нефтей, в связи с чем основные резервы добычи нефти ориентированы на месторождения трудноизвлекаемых нефтей. К таким относятся нефти с аномальными физико-химическими свойствами (тяжелые, вязкие, смолистые, парафинистые). Значительное содержание в высоковязкой нефти асфальтенов, смол и парафинов усложняют её транспортировку. Образующиеся отложения снижают скорость транспортировки нефти, а также ведут к уменьшению потока нефти в трубопроводах. Также увеличение давления в трубопроводе ведет к росту напряжений в его стальной оболочке, и в сочетании с проблемой коррозии стенки трубы из-за отложений может в конечном итоге привести к разрушению трубопроводов в точках напряжения.

Высоковязкие нефти, как правило, содержат уникальные компоненты, стоимость которых может превосходить стоимость стандартного ассортимента нефтепродуктов, и при этом большинство применяемых технологий транспортировки тяжелых высоковязких нефтей –

затратны и недостаточно эффективны. Поэтому актуальной является проблема снижения затрат на перекачку высоковязких нефтей.

Одним из наиболее эффективных решений является введение в перекачиваемый поток полимерных присадок. Но, в связи с индивидуальным составом нефтей различных месторождений, использование определенной композиции может быть эффективно для одного типа нефти и не давать положительных изменений на другом.

Впервые в промышленном масштабе ПТП для снижения гидравлического сопротивления были применены к маловязким нефтям на Транс-Аляскинском трубопроводе фирмой «Trans Alaska Pipeline System» в 1979 году. Присадка CDR от компании «Conoco specialty products» представляла собой раствор полиолефинов в углеводородном растворителе [1, 2]. Данная присадка позволило увеличить пропускную способность нефтепровода на 16-32 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

В середине 80-х гг. XX века в компании «Shell Pipeline» возникла необходимость увеличения пропускной способности трубопровода в связи с возросшей добычей нефти платформы фирмы «Shell Oil» в районе Мексиканского залива. Дозировочная станция была установлена прямо на барже, что позволило увеличить производительность трубопровода в кратчайший период при концентрации вводимого полимера от 15 до 30 мг/г [3].

В отечественной практике применение противотурбулентных присадок на промышленных объектах началось в 1985 году. На участке нефтепровода «Лисичанск – Тихорецк» вводилась присадка CDR-102 компании «Conoco specialty products»

В 1991 году на Томском нефтехимическом комбинате была получена первая отечественная присадка с функцией гасителя турбулентности под названием «ВИОЛ» (10% раствор сополимера  $\alpha$ -олефина в гептане) [4, 5].

В 2012 году присадка M-FLOWTREAT успешно применялась на межпромысловом нефтепроводе СПН «Антиповка» - СПН «Южный Умет». При сохранении постоянного давления пропускная способность нефтепровода составила 61 % [6]. Так же присадка M-FLOWTREAT успешно прошла испытания на конденсатопроводе ООО «НОВАТЭК-ЮРХАРОВНЕФТЕГАЗ» «Юрхароское месторождение – Пуровский ЗПК» протяженностью 388,6 км. Максимальная эффективность присадки 53,1 % была достигнута при концентрации ПТП 30 ppm.

На основании данного материала можно выявить следующие случаи применения ПТП при транспортировке нефти, нефтепродуктов и газового конденсата:

- увеличение пропускной способности трубопровода при неизменном перепада давления на участке;
- снижение рабочего давления при сохранении постоянного расхода трубопровода;
- возможность увеличения производительности трубопровода при высоких объемах добычи
- увеличение потребления продуктов в случае сезонной и рыночной неравномерности потребления
- снижение себестоимости транспортировки на единицу продукции от увеличения пропускной способности трубопровода и снижения энергетических затрат на нефтеперекачивающее оборудование

Это особенно необходимо в промышленных условиях, когда содержание воды колеблется с большой разницей, а в условиях работы Крайнего Севера увеличение пропускной способности промышленных трубопроводов нельзя решить созданием лупинговых линий или строительством трубопровода с большим диаметром из-за климатических особенностей: вечная мерзлота, болотные почвы, дороговизна логистических аспектов и аспектов монтажа на месте. К тому же проектировать трубопровод необходимо с учетом возможности обеспечить транспортировку нефтяного флюида в первые несколько лет разработки месторождения.

### Список литературы:

1. Мут Ч. Применение специальных присадок с целью снижения затрат по эксплуатации трубопроводов / Ч. Мут, М. Монахен, Л. Песето // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. – 1986. – № 7. – С. 60–62.
2. Смолл С.Р. Добавки, снижающие сопротивление течению в трубопроводах / С.Р. Смолл // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. – 1983. – № 6. – С. 58–60.
3. Рахманкулов Д.Л. Применение присадок для снижения гидравлического сопротивления и увеличения производительности трубопроводов / Д.Л. Рахманкулов, Б.Н. Мастобаев, Т.В. Дмитриева, Э.М. Мовсумзаде, С.А. Курмаев // Башкирский химический журнал. – 2003. – Том 10. – № 4. – С. 20–29.
4. Несын Г.В. Промышленные испытания полимерной присадки «ВИОЛ» / Г.В. Несын, Н.М. Полякова, А.В. Илюшников, Е.А. Попов, В.Н. Манжай, М.М. Гареев, В.Л. Кузнецов, А.И. Жиров, М.И. Валиев // Нефтяное хозяйство. – 1995. – № 5–6. – С. 81–82.
5. Гареев М.М. Результаты ввода в поток присадки для снижения гидравлического сопротивления / М.М. Гареев, Г.В. Несын, В.Н. Манжай // Нефтяное хозяйство. – 1992. – № 10. – С. 30–31.
6. Первая победа компании «Миррико Сервис» [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: [http://www.mirrico.ru/press/releases/index.php?ELEMENT\\_ID=3344](http://www.mirrico.ru/press/releases/index.php?ELEMENT_ID=3344). – Загл. с экрана.



## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЛЬТРОВ ГАРМОНИК В СРЕДЕ MATLAB

*Юдин Алексей Викторович*

*д-р техн. наук, доцент,  
Рыбинский государственный авиационный технический университет  
им. П.А. Соловьева – РГАТУ им. П.А. Соловьева,  
РФ, г. Рыбинск*

## EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF USING HARMONIC FILTERS IN THE MATLAB ENVIRONMENT

*Alexey Yudin*

*doctor of technical science,  
Head of Department of Electrical Engineering and Industrial Electronics  
FGBOU VO «P. A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University»,  
Russia, Rybinsk*

**Аннотация.** Для обеспечения требований по электромагнитной совместимости часто применяют пассивные фильтры гармоник. Для анализа эффективности их применения необходимо проведение моделирования процессов, протекающих в энергосистеме с установленным фильтром. В статье рассматривается реализация проверочного расчета в среде Matlab. В качестве источника высших гармоник рассмотрен тиристорный регулятор переменного напряжения.

**Abstract.** Passive harmonics filters are often used to ensure the requirements for electromagnetic compatibility. To analyze the effectiveness of their application, it is necessary to simulate the processes taking place in the power system with the filter installed. The article deals with the implementation of the verification calculation in the Matlab environment. The thyristor regulator of alternating voltage is considered as a source of higher harmonics.

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость; пассивный фильтр гармоник; высшие гармоники; моделирование; Matlab.

**Keywords:** electromagnetic compatibility; passive harmonic filter; higher harmonics; modeling; Matlab.

Каждый электроприемник рассчитан для работы при определенных параметрах электрической энергии, поэтому для его нормальной работы должно быть обеспечено требуемое качество. Необходимость проектирования и установки фильтров гармоник возникает из-за плохого качества электроэнергии, а также из-за ограничений поставщика электроэнергии, которые нормируются регулирующими организациями, такими как *IEEE* и МЭК. Наиболее доступным методом снижения гармонических искажений напряжения и тока является применение пассивных фильтров. В настоящее время многие сети содержат по несколько источников гармоник, которые создают неприемлемый уровень искажений в точке подключения к энергосистеме и которые могут нанести ущерб другим потребителям. Имеется необходимость оценки эффективности работы фильтров. Для проведения такой оценки требуется разработка специальных моделей.

Нормы качества электрической энергии в системах электро-снабжения общего назначения регламентируются ГОСТ 32144-2013 [1]. Несинусоидальность напряжения (тока) оценивается коэффициентом гармонических составляющих до 40-го порядка  $KU(n)i$  в процентах от основной гармонической составляющей.

Анализ работы фильтра гармоник проведем в три этапа. На первом этапе определяем спектральный состав напряжения. Для этого воспользуемся аппаратом анализа спектра (разложение в ряд Фурье). Ряд Фурье – бесконечная сумма гармонических составляющих: постоянной составляющей  $A_0$  основной гармоники с частотой  $\omega_1$  и высших гармонических составляющих, частоты которых кратны основной частоте. Каждая гармоника характеризуется амплитудой  $A_{mk}$ , начальной фазой  $\alpha_k$  и частотой  $\omega_k = k\omega_1$ , где  $k = 1, 2, 3, \dots$  – порядковый номер гармоники. Разложение в ряд Фурье может быть выполнено аналитически, решением интеграла Фурье или с помощью алгоритма быстрого преобразование Фурье (БПФ).

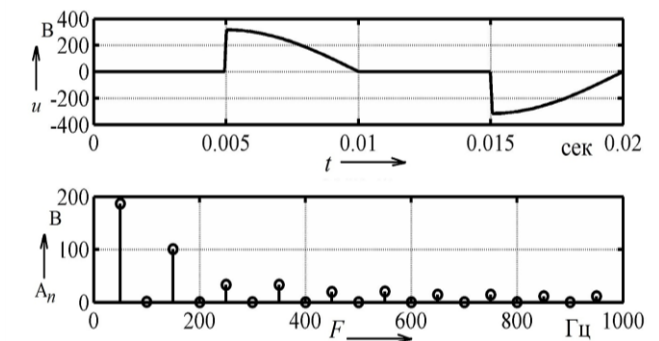
Для выполнения БПФ в *MATLAB* используется функция *fft*. Выполнение команды вида  $Y = \text{fft}(X)$  вычисляет для массива данных  $X$  дискретное преобразование Фурье, используя *FFT*-алгоритм быстрого Фурье-преобразования.

Для перехода к спектру в общепринятом смысле отбрасывают правую половину спектрограммы, а амплитуды в левой части умножают на 2 за исключением первого элемента, который не имеет зеркального отражения и представляет собой величину постоянной составляющей.

Кроме того, нормируют все амплитуды гармоник, разделив их на число выборок сигнала [2].

Для примера рассмотрим форму напряжения, соответствующую работе тиристорного регулятора с фазовым управлением с заданным моментом коммутации тиристора. Для этого используется пользовательский скрипт *vvrreg.m* в среде *Matlab*, который осуществляет генерирование опорной синусоиды и ее модуляцию прямоугольным импульсом, время завершения которого соответствует полупериоду сетевого напряжения, а начало – моменту фазовой коммутации при тиристорном регулировании.

Результатом работы данного скрипта являются графики, отображающие форму сигнала и его спектр. Форма и спектр напряжения для момента коммутации 5 мс приведена на рисунке 1. Для дальнейшего анализа требуется определить амплитуду первой  $A_1$  и третьей  $A_3$  в спектре сигнала, которые изображены на рисунке 1. Амплитуда первой гармоники определяется по нижнему графику рисунка 1 по значению частоты на оси абсцисс равному 50 Гц, а третьей гармоники соответственно на частоте 150 Гц. Впоследствии эти значения используются в качестве исходных значений источника ЭДС в схеме замещения сети с установленным фильтром. То есть, проводится анализ прохождения каждой гармоники в спектре через частотно зависимую цепь, какой является фильтр гармоник совместно с элементами энергосети. При этом нужно учитывать, что сеть имеет кроме активного также и индуктивное сопротивление.



**Рисунок 1. Форма и спектр напряжения для момента коммутации 5 мс**

На втором этапе производится необходимое построение модели сети с установленным фильтром, схема которой изображена на

рисунке 2. Здесь пассивный фильтр содержит индуктивность, емкость и активное сопротивление и подключен параллельно нагрузке  $Z_S$

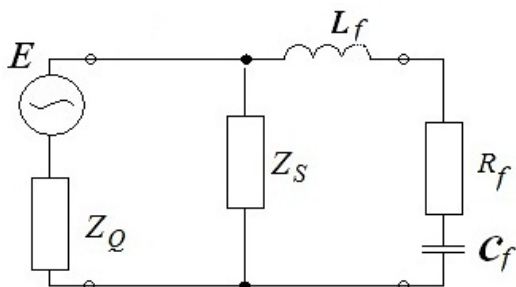


Рисунок 2. Схема сети с фильтром

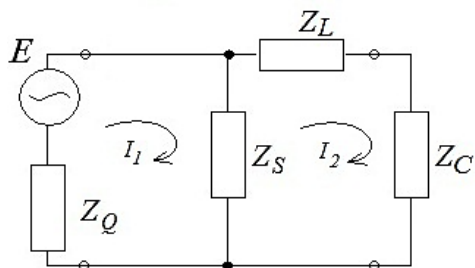


Рисунок 3. Схема замещения сети с фильтром

Схема замещения, изображенная на рисунке 3, при использовании метода контурных токов может быть описана системой уравнений:

$$\begin{aligned} I_1(Z_Q + Z_S) - I_2 Z_S &= E \\ -I_1 Z_S + I_2(Z_S + Z_L + Z_C) &= 0 \end{aligned}$$

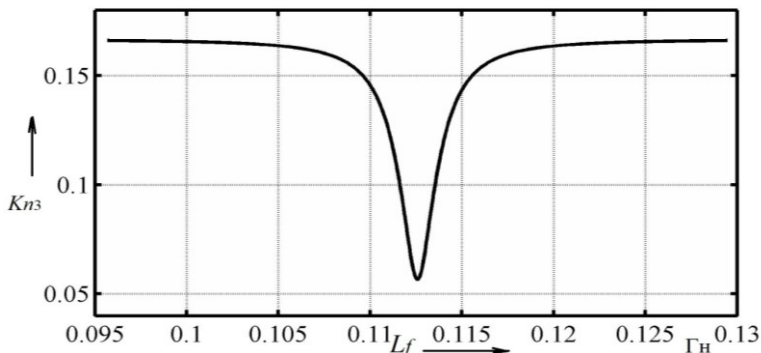
Для решения этой системы в среде *Matlab* его можно представить в матричной форме

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \text{inv}(M) \begin{bmatrix} E \\ 0 \end{bmatrix}, \text{ где } M = \begin{bmatrix} Z_Q + Z_S & -Z_S \\ -Z_S & Z_S + Z_L + Z_C \end{bmatrix}.$$

Комплексные сопротивления, входящие в состав матрицы  $M$ :  $Z_Q$  – сопротивление источника,  $Z_S = R_N + j2\pi FL_N$  – сопротивление нагрузки,  $Z_L = R_f + j2\pi FL_f$  – индуктивное сопротивление фильтра (дрессель),  $Z_C = 1/j2\pi FC_f$  – емкостное сопротивление фильтра (конденсатор),  $F$  – частота, на которой производится расчет. Зная контурные токи можно найти ток, протекающий через нагрузку  $IS$  (как разность между первым и вторым контурными токами).

На третьем этапе производится расчет тока в нагрузке на частоте первой  $In1$  и третьей  $In3$  гармоники, используя модель, полученную на втором этапе при разных значениях индуктивности. Кроме того, рассчитывается коэффициент гармонической составляющей для третьей гармоники:  $Kn3 = In3 / In1$ .

Пример расчета коэффициента гармонической составляющей для третьей гармоники представлен на рисунке 4.



**Рисунок 4. Коэффициент гармонической составляющей  $Kn3$**

Приведенные результаты анализа работы фильтра гармоник позволяют оценить эффективность его применения в условиях заданной электромагнитной обстановки.

Как видно из рисунка 4 коэффициент гармонической составляющей для третьей гармоники снизился с 17 % до 5 %. При этом следует стремиться не уменьшать  $In1$  так как это приводит к дополнительным потерям. Дополнительно анализ позволяет оценить влияния индуктивности фильтра, то есть сформулировать требования к погрешности изготовления дросселя фильтра.

**Список литературы:**

1. ГОСТ 32144-2013 "Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения"
2. Юдин, А.В. Научно-технические расчеты на ПЭВМ [Учебное пособие]/ А.В. Юдин, С.Э. Седлецкая // РГАТУ им. П.А. Соловьева, – Рыбинск, 2011 г. – 107 с.

## РАЗДЕЛ 2.

### ФИЗИКА

#### 2.1. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

##### ФРАКТАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУР В СОВРЕМЕННЫХ ПРИБОРАХ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ (ПНВ)

*Доненко Иван Леонидович*

*магистрант,  
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет  
им. В.И. Вернадского»,  
РФ, г. Симферополь*

##### FRACTAL CONSTRUCTION OF STRUCTURES IN MODERN NIGHT VISION DEVICES (NVV)

*Ivan Donenko*

*master student,  
FGAOU VO "Crimean Federal University. IN AND. Vernadsky,  
Russia, Simferopol*

**Аннотация.** В настоящее время дифракционные оптические элементы используются для выполнения разнообразных оптических преобразований, при этом суггестируя только с фазой проходящей электромагнитной волны. В современном мире использование ПНВ стало повсеместным. Но, качество получаемого изображения на электронно-оптическом преобразователе и ПЗС-матрице желают лучшего, во время работы прибора ночного видения на экране возникают различные оптические аберрации и помехи при генерации рельефа.

Метод модификации современных ПНВ кардинально отличается от предложенных ранее. Особенностью данного способа является использование современного математического аппарата и применение теории фракталов и хаоса – данных разделов науки в целях улучшения оптоэлектронных приборов.

**Abstract.** Currently, diffractive optical elements are used to perform a variety of optical transformations, while suggesting only with the phase of the transmitted electromagnetic wave. In the modern world, the use of PNV has become ubiquitous. But, the quality of the resulting image on the electron-optical converter and the CCD-matrix desires better, while operating the night vision device, various optical aberrations and interference arise during the generation of the relief. The method of modifying modern PNV differs radically from the proposed wound. A special feature of this method is the use of modern mathematical apparatus and the application of the theory of fractals and chaos - these data sections of science in order to improve optoelectronic devices.

**Ключевые слова:** фрактал; прибор ночного видения (ПНВ); оптоэлектроника; дифракция; зонная пластинка; фотонный кристалл

**Keywords:** fractal; night vision device (NVV); optoelectronics; diffraction; zone plate; photonic crystal

**Введение.** В настоящее время применение приборов ночного видения во время боевых действий, охоты – повсеместно, что позволяет получить более высокие результаты скрытности и обнаружения скрытных объектов в ночное время суток. Но, качество получаемого изображения на электронно-оптическом преобразователе и ПЗС-матрице желают лучшего, во время работы прибора ночного видения на экране возникают различные оптические aberrации и помехи при генерации рельефа. Преимущество использования фрактальных дифракционных решеток и фотонных кристаллов [3] полученных на их основе в уменьшении количества aberrаций и более «чистом» полученном изображении.

**Основная часть.** В современных ПНВ используются дифракционные решетки которые позволяют создавать так называемые «фазовые профили структуры» в последствии получая конечное изображение на экране. Правда, возникают ограничения реализации данных преобразований, отсутствует электронная возможность получить более детальный микрорельеф, возникает погрешность соизмеримая с длиной волны и менее.

Для улучшения современных ПНВ предлагается использовать фрактальную дифракционную решетку или фотонный кристалл полученный



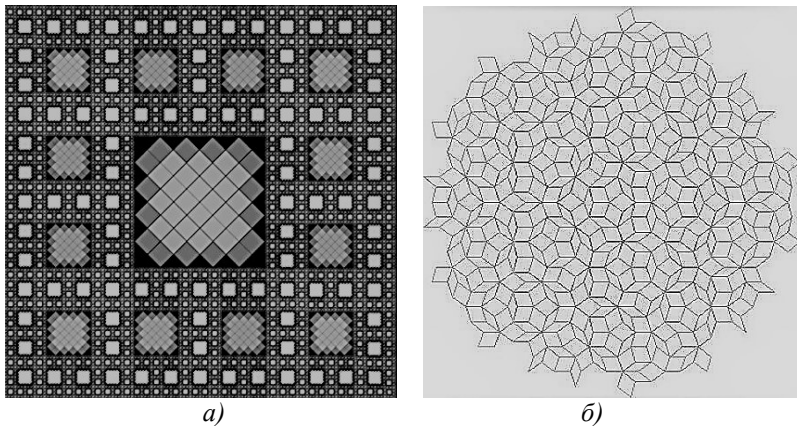
на основе фрактальной структуры. Фрактальный подход к построению геометрических транспарантов, фазовых пластин и матриц позволяет синтезировать графические голограммы, которые позволяют проявлять более глубокие детали рельефа и уменьшить aberrации конечного изображения.

Для моделирования фрактальной зонной пластинки нужного диаметра воспользуемся длиной Талбота:

$$Z_t = \frac{2d^2}{\lambda}, \quad (1)$$

где:  $d$ - период фрактальной дифракционной решетки [2].

Применим длину Талбота к коврику Серпинского и сетке Браве 2-го класса. В результате получим следующие математические модели фрактальных дифракционных решеток:



**Рисунок 1. Ковер Серпинского (а) и рациональная фрактальная графика аналог сетки Браве 2-го класса (б) с шагом в длину Талбота**

Колебания, возбуждаемые в фокусной точке, фрактальной решетки, совпадают по амплитуде и отличаются по фазе. Для каждой пары соседних щелей сдвиг фаз  $\Delta\varphi_0$  между этими колебаниями одинаков [1]. Он зависит от длины волны  $\lambda$  и разности хода лучей от сходственных точек щелей:

$$\Delta\varphi_0 = \frac{1}{2} \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \Psi \quad (2)$$

Следовательно уравнение колебания на фрактальной дифракционной решетке в последствии дает возможность получить фотонный кристалл с помощью 3D-моделирования [3].

Такая картина описывается универсальной функцией:

$$I(\zeta) = I_0(\zeta) = \frac{1}{2} \frac{\sin^2\left(\frac{N\zeta}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\zeta}{2}\right)}, \quad (3)$$

где:  $\zeta$  – фазовый сдвиг волн от ближайших структур в направлении детектора,  $N$  – щели фрактальной решетки.

Уже сейчас проведя ряд вычислений можно сказать, что использование новых типов фрактальных дифракционных решеток увеличит качество и глубину получаемых изображений в ПНВ на 15-19% так как, фазовый сдвиг волн, излучаемых от ближайших структур в направлении детектора будет минимален. Такой фрактальный паттерн дифракции будет иметь ряд главных минимумов и максимумов в точках  $\zeta_{min} = -2k\pi, k = 0, -1, -2, \dots, -\infty$  и  $\zeta_{max} = 2k\pi, k = 0, 1, 2, \dots, \infty$

Получив данные фрактальные дифракционные решетки планируется провести ряд экспериментов. В ходе которых данные решетки будут прикрепляться к ПНВ для получения более качественных изображений рельефа и структур в дальнейшем.

**Выводы.** Различные фрактальные дифракционные решетки и зонные пластинки смоделированные на основе длины Талбота, должны улучшить качество современных ПНВ. Планируется ряд экспериментов на основе которых данная математическая модель будет опробована. Также как видно из результатов имеется возможность построить 3D-модель фотонных кристаллов, работа с которыми у ПНВ будет с помощью электронного оборудования основанного на открытой системе «Arduino».

### Список литературы:

1. Технические средства защиты информации: Учебное пособие для студентов специальностей «Организация и технология защиты информации» и «Комплексная защита объектов информатизации». – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2010. – 77 с.
2. Экспериментальное подтверждение выводов по физико-математическому моделированию решетчатых и шаровых упаковок пространства и моделированию уравнений геометрического поля пространственных частот. г. Санкт-Петербург 2003 г. – 13 с.
3. Виртуальное моделирование и исследование оптических фрактальных отображений. Тамбовский государственный технический университет. г. Тамбов 2017 г. – 111 с.

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам XVII международной  
научно-практической конференции*

№ 7 (17)  
Август 2018 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 13.08.18. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 3,125. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»  
125009, Москва, Георгиевский пер. 1, стр.1, оф. 5  
E-mail: [tech@nauchforum.ru](mailto:tech@nauchforum.ru)

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3



**НАУЧНЫЙ  
ФОРУМ**  
[nauchforum.ru](http://nauchforum.ru)